

19



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



11 Veröffentlichungsnummer: **0 522 610 A1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **92201550.8**

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: **G01B 7/00, G01B 7/28**

22 Anmeldetag: **01.06.92**

30 Priorität: **26.06.91 CH 1883/91**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**13.01.93 Patentblatt 93/02**

64 Benannte Vertragsstaaten:  
**AT DE ES FR IT**

71 Anmelder: **Sulzer - Escher Wyss AG**  
**Hardstrasse 319**  
**CH-8023 Zürich(CH)**

72 Erfinder: **Schneebell, Fritz**  
**Rebbergstrasse 6d**  
**CH-8102 Oberengstringen(CH)**

74 Vertreter: **Paschedag, Hansjoachim**  
**c/o Sulzer - Escher Wyss AG Patentabteilung**  
**Postfach**  
**CH-8023 Zürich(CH)**

54 Verfahren zur Bestimmung der Flächenkontur von Laufradschaufeln hydraulischer Maschinen, sowie Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens.

57 Zur Bestimmung der Oberflächenkontur an schwer zugänglichen Stellen, z.B. der Schaufelform einer hydraulischen Maschine, wie einer Wasserturbine, gleichzeitig auf allen Seiten der Schaufel, und in eingebautem Zustand, ist ein Gestänge aus mindestens drei oder mehr durch Universalgelenke (7, 8, 9, 10, 11) in allen Richtungen schwenkbar miteinander verbundenen Armen (2, 3, 4, 5, 6) fester Länge vorgesehen. Mit Winkelpositionsmessfühlern (13, 14) in den Gelenken (7, 8, 9, 10, 11) wird die Winkelposition der benachbarten Arme um zwei zueinander senkrechte Drehachsen (A, B) bestimmt und in einer Auswerteeinheit (18) zur Bestimmung der Koordinaten der Abtastspitze (20) mit verbesserter Messgenauigkeit ausgewertet.

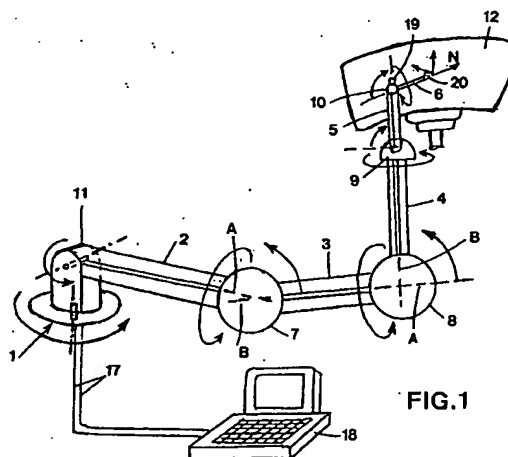


FIG.1

EP 0 522 610 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Flächenkontur von Laufradschaufeln hydraulischer Maschinen durch mechanisches Abtasten einzelner Punkte der Fläche mit einem Abtastgestell, sowie eine Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens.

Bei hydraulischen Maschinen, insbesondere bei Wasserturbinen oder Pumpenturbinen, ist es erforderlich, nach einer bestimmten Betriebszeit die Form der Schaufelprofile nachzumessen und Veränderungen der Profile festzustellen, und danach die Schaufeln nachzuarbeiten, um das optimale Profil wiederherzustellen.

Bekannte mechanische Flächenkontur-Abtastvorrichtungen, z.B. die aus DE-A-32 41 074 und DE-A-35 06 494 bekannten Kreuzschieber sind zur Bestimmung von Schaufelprofilen jedoch nur schlecht geeignet. Diese weisen drei zueinander senkrechte verschiebbare Arme mit verstellbarer Länge auf, bei denen die Länge der einzelnen Arme so lange verstellt wird, bis die Abtastspitze an des äussersten Armes auf der Fläche aufsitzt. Die Längen der drei Arme geben dabei unmittelbar die Koordinaten des abgetasteten Flächenpunktes an. Die Flächenkontur ergibt sich dabei durch sukzessives Abtasten einzelner Flächenpunkte gemäss einem vorbestimmten Raster. Die Koordinatenbestimmung beruht hierbei auf einer Längenmessung und ist von der Temperatur und Belastung abhängig und entsprechend ungenau. Damit lassen sich zudem stark gekrümmte und gewundene Flächen nicht in einer einzigen Aufspannung abtasten, insbesondere nicht gleichzeitig auf der Vorderseite und der Rückseite z.B. eines Schaufelprofils.

Aus GB-A-1 498 009, EP-A-155 084 oder FR-A-2 634 279 sind andererseits Messgeräte mit mehreren durch Schwenkgelenke verbundenen Armen bekannt. Aus den Drehwinkeln und den Schwenkwinkeln lässt sich die Position der Spitze des äusseren Armes mit guter Präzision ermitteln. Nachteilig ist jedoch auch hierbei, dass mit einem solchen Abtastgestänge wegen der immer noch unzureichenden Flexibilität nur relativ einfach geformte Flächen abgetastet werden können. Bei stark gewundenen und gekrümmten Flächen, beispielsweise bei kompliziert gekrümmten Schaufelformen, z.B. von Wasserturbinen, insbesondere Francis-Turbinen, lässt sich deren Flächenkontur mit solchen bekannten Vorrichtungen jedoch nicht auf einfache Weise in einem einzigen Messvorgang bestimmen. Insbesondere ist es nicht möglich, in einer Aufspannung die Vorderseite und die Rückseite eines bestimmten Profils, beispielsweise einer Wasserturbinenschaufel, abzutasten. Zudem ist die Messung nicht in eingebautem Zustand der Maschine möglich. Die Turbine muss dazu ausgebaut und aufgespannt werden, was weitere Ungenauigkeiten und Messfehler zur Folge hat.

Die Erfindung setzt sich die Aufgabe, die angeführten Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen und ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung von Flächenkonturen der Schaufeln hydraulischer Maschinen mit verbesserter Präzision zu schaffen, welche eine vergrösserte Flexibilität aufweist, so dass sie auch für kompliziert gekrümmte und gewundene Flächen geeignet ist und gleichzeitig die Bestimmung der Kontur der Vorderseite und der Rückseite eines Profils erlaubt, und zwar im eingebauten Zustand und ohne die Notwendigkeit, die Maschine auszubauen.

Nach dem erfindungsgemässen Verfahren wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die Flächenkontur mit einem Gestell aus mindestens drei, durch antriebsfreie Universal-Gelenke mit einer Schwenkbarkeit bzw. Drehbarkeit von jeweils zwei zueinander senkrechten Achsen verbundenen Armen fester Länge, wobei der innerste Arm an einer ortsfesten Basis ebenfalls um zwei zueinander senkrechten Achsen schwenkbar bzw. drehbar befestigt ist, dadurch abgetastet wird, dass eine am Ende des äussersten Armes vorgesehene Abtastspitze auf der Fläche aufgesetzt wird, und dass die Winkelpositionen der Universal-Gelenke in jeweils beiden Richtungen gemessen werden, und aus den gemessenen Winkelpositionen und den vorgegebenen Längen der Arme die Raumposition der Abtastspitze berechnet wird.

Eine Vorrichtung zur Ausführung dieses Verfahrens weist ein Gestell aus mindestens drei, durch antriebsfreie Universal-Gelenke mit einer Schwenkbarkeit um jeweils zwei zueinander senkrechte Schwenk- bzw. Drehachsen verbundenen Armen fester Länge auf, wobei die Gelenke jeweils zwei Winkelmessfühler zur Messung der Winkelposition der aufeinander folgenden Arme in den beiden Richtungen aufweisen und der innerste Arm an der ortsfesten Basis ebenfalls in zwei zueinander senkrechten Richtungen schwenkbar bzw. drehbar befestigt ist, und wobei am Ende des äussersten Armes eine Abtastspitze vorgesehen ist, sowie eine Auswerteinrichtung, welche aus den gemessenen Winkelpositionen und den vorgegebenen Längen der Arme die Raumposition der Abtastspitze berechnet.

Da das Abtastgestänge aus mindestens drei oder mehr aufeinanderfolgenden, mit Universal-Gelenken verbundenen Armen besteht, wird mit den sechs oder mehr zur Verfügung stehenden Winkelparametern die Abtastung komplizierter Flächen mit hinreichender Flexibilität möglich, und zwar ohne Längenverstellbarkeit der einzelnen Arme, so dass auch verdeckte Messpunkte auf der Rückseite ohne Mühe und ohne Ausbau oder Umspannen der Maschine erreicht werden können. In vielen Fällen genügen dazu drei Arme, in komplizierten Fällen können jedoch auch vier, fünf oder mehr Arme

vorgesehen sein, die eine schlangenhafte Beweglichkeit ermöglichen.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Abtastspitze der äussersten Stange so ausgebildet, dass sie in Richtung der Flächennormale auf der abzutastenden Fläche aufsitzt. Die Richtung dieser Flächennormalen lässt sich hierbei ebenfalls aus den Winkelpositionen der Gelenke ermitteln und kann somit in die Berechnung einbezogen werden.

Die Erfindung wird anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele von Vorrichtungen zur Ausführung des erfindungsgemässen Verfahrens näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Bestimmung einer Flächenkontur in Seitenansicht, und

Fig. 2 ein Gelenk zwischen zwei Abtastarmen im Schnitt.

Die in Fig. 1 dargestellte Vorrichtung besteht aus einem an einem Fixpunkt 1, insbesondere dem Maschinenfundament, angebrachten Gestänge oder Gestell, welches aus mehreren Armen 2, 3, 4, 5 und 6 besteht, welche durch Universal-Gelenke 7, 8, 9, 10 miteinander derart verbunden sind, dass sich die Arme gegeneinander frei bewegen können, indem sie in den Gelenken um zwei zueinander senkrechte Drehachsen A, B schwenkbar oder drehbar sind. Dabei haben die einzelnen Arme 2, 3, 4.. eine unveränderliche vorgegebene Länge. Der innere Arm 2 ist an der Basis 1, z.B. dem Maschinenfundament oder dem Laufrad ebenfalls über ein in allen Richtungen bewegliches Gelenk 11 angebracht. Der äussere Arm 6 ist als Taster ausgeführt, dessen Abtastspitze 20 auf die abzutastende Fläche 12, deren Kontur zu bestimmen ist, an einzelnen Messpunkten nacheinander aufgesetzt wird.

Ein Beispiel eines Gelenkes zwischen zwei benachbarten Armen ist in Fig. 2 wiedergegeben. Es ist in der Form eines Kreuzgelenkes ausgeführt, welches eine Schwenkbarkeit der Arme 2 und 3 gegeneinander um Drehachsen A und B unabhängig voneinander gestattet. Die jeweilige Position der beiden Arme 2 und 3 gegeneinander in den beiden Schwenkrichtungen ist mit Winkelpositionsgewern 13 und 14 feststellbar. Diese können in konventioneller, dem Fachmann bekannter Art ausgeführt sein und über Leitungen 15 und 16 jeweils ein Winkelpositionssignal in dem Gestänge 2 zur Basis 1 weiterleiten. Die einzelnen Winkelpositionssignale der Gelenke 7, 8 ...11 werden vom Fixpunkt 1 über Leitungen 17 zu einer Auswerteeinheit 18 geleitet, welche aus den Winkelpositionssignalen der Gelenke 7, 8, ...11, sowie den vorgegebenen Längen der Abtaststangen 2, 3, ...6 die Position der Abtastspitze 20 berechnet. Der dazu erforderliche einfache geometrische Rechenalgorithmus ist dem Fachmann bekannt. Die einzelnen auf diese Weise

bestimmten Koordinaten der abgetasteten Messpunkte auf der Fläche 12 werden in der Auswerteeinheit 18 gespeichert und zu einer Gesamtinformation über die Kontur der abgetasteten Fläche 12 zusammengefügt.

Insbesondere lässt sich aus diesen verarbeiteten Messwerten feststellen, ob die gemessene Kontur von einer vorgegebenen Sollkontur in Form eines 3D-Flächenmodells, beispielsweise der idealen Schaufelform einer Wasserturbine abweicht, und ob eine Nacharbeitung erforderlich ist. Wegen der schlangenartigen Beweglichkeit des Abtastgestänges sind hierbei auch versteckte Flächenteile und Innenflächen bequem zugänglich. Die Abtastvorrichtung lässt sich derart flexibel ausbilden, dass nahezu alle denkbaren Flächen erreicht und abgetastet werden können, ohne dass die Turbine aus dem Fundament ausgebaut und umgespannt werden muss.

Die beim Abtasten erzielbaren Informationen können noch dadurch erweitert werden, dass die Messspitze der äusseren Abtaststange 6 so ausgebildet wird, dass sie stets in Normalen-Richtung N auf der abzutastenden Fläche 12 aufsitzt.

Die Abtastung der Flächenkontur 12 erfolgt vorzugsweise manuell, wobei die Winkelpositionen bei jedem Antasten durch manuelle Auslösung der Positionssignale in der Auswerteeinheit 18 gespeichert werden, sobald die Abtastspitze 20 auf der Fläche aufsitzt. Eine solche manuelle Abtastung an einer Vielzahl beliebig wählbarer Messpunkte bietet den Vorteil, dass keinerlei Antriebs- und Steuerelemente erforderlich sind, so dass die Vorrichtung besonders leicht und einfach ausgeführt sein kann und Messfehler infolge Verformungen vermieden werden. Jedoch ist auch eine automatische Auslösung möglich, wobei die Abtastspitze 20 bzw. das Gelenk 10 zusätzlich einen Druck- oder Annäherungsschalter 19 aufweist, welcher die Speicherung der Winkelpositionswerte auslöst, sobald die Abtastspitze 20 auf der abzutastenden Fläche 12 aufsitzt.

Die Gelenke 7, 8, ...11 können statt als echte Kreuzgelenke auch in anderer Form ausgebildet sein, z.B. als Kugelgelenke mit Schwenkbarkeit in allen Richtungen, also auch bei zwei beliebigen, zueinander senkrechten Drehachsen, wobei die Winkelpositionsmesser die Winkelpositionswerte jeweils in zwei zueinander senkrechten Richtungen erfassen.

Da das Abtastgestänge keine störenden Gewichte, wie z.B. Motoren oder dergleichen aufweist und daher auch bei grösserer Länge praktisch keine das Messresultat störenden Deformationen aufweist, und da nur mit genau messbaren Winkelpositionen gearbeitet wird, sind die ermittelten Koordinatenwerte ausserordentlich präzise. Da beliebig viele Flächenpunkte frei wählbar auf beliebigen Teilen

der Fläche, einschliesslich der Rückseite und Innenflächen abgetastet und deren Messwerte in nur einem einzigen Messvorgang verarbeitet werden können, ist die Flexibilität und Anwendbarkeit der Vorrichtung und deren Messgenauigkeit deutlich verbessert. Sie lässt sich auch dort mit Vorteil verwenden, wo andere Verfahren versagen oder mit grossen Schwierigkeiten verbunden waren, z.B. zur Bestimmung der Oberflächenkontur einer Turbinenschaufel gleichzeitig auf allen Seiten, und zwar in eingebautem Zustand der Maschine in einem Wasserkraftwerk.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Flächenkontur von Laufradschaufeln (12) hydraulischer Maschinen durch mechanisches Abtasten einzelner Punkte der Fläche mit einem Abtastgestell, dadurch gekennzeichnet, dass die Flächenkontur mit einem Gestell aus mindestens drei, durch antriebsfreie Universal-Gelenke (7, 8, 9, 10) mit einer Schwenkbarkeit bzw. Drehbarkeit von jeweils zwei zueinander senkrechten Achsen (A, B) verbundenen Armen (2, 3, 4, 5, 6) fester Länge, wobei der innerste Arm (2) an einer ortsfesten Basis (1) ebenfalls um zwei zueinander senkrechten Achsen schwenkbar bzw. drehbar befestigt ist, dadurch abgetastet wird, dass eine am Ende des äussersten Armes (6) vorgesehene Abtastspitze (20) auf der Fläche aufgesetzt wird, und dass die Winkelpositionen der Universal-Gelenke (7, 8, 9, 10) in jeweils beiden Richtungen gemessen werden, und aus den gemessenen Winkelpositionen und den vorgegebenen Längen der Arme (2, 3, 4, 5, 6) die Raumposition der Abtastspitze (20) berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastspitze (20) in Richtung der Flächennormalen (N) auf die Laufradschaufel (12) aufgesetzt wird, und die Normalenrichtung aus den Winkelpositionen und den Längen der Arme (2, 3, 4, 5, 6) berechnet wird.

3. Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens zur Bestimmung der Flächenkontur von Laufradschaufeln (12) hydraulischer Maschinen nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch ein Gestell aus mindestens drei, durch antriebsfreie Universal-Gelenke (7, 8, 9, 10) mit einer Schwenkbarkeit um jeweils zwei zueinander senkrechte Schwenk- bzw. Drehachsen (A, B) verbundenen Armen (2, 3, 4, 5, 6) fester Länge, wobei die Gelenke (7, 8, 9, 10) jeweils zwei Winkelmessfühler (13, 14) zur Messung der Winkelposition der aufeinander folgenden

Arme in den beiden Richtungen aufweisen, und der innerste Arm (2) an der ortsfesten Basis (1) ebenfalls mit einem Gelenk (11) in zwei zueinander senkrechten Richtungen schwenkbar bzw. drehbar befestigt ist, und wobei am Ende des äussersten Armes (6) eine Abtastspitze (20) vorgesehen ist, sowie durch eine Auswerteeinrichtung (18), welche aus den gemessenen Winkelpositionen und den vorgegebenen Längen der Arme (2, 3, 4, 5, 6) die Raumposition der Abtastspitze (20) berechnet.

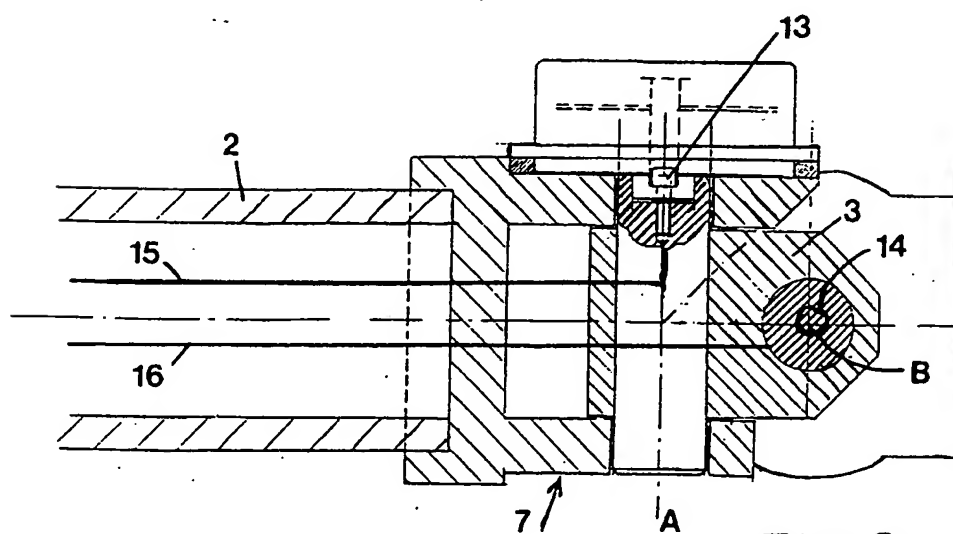
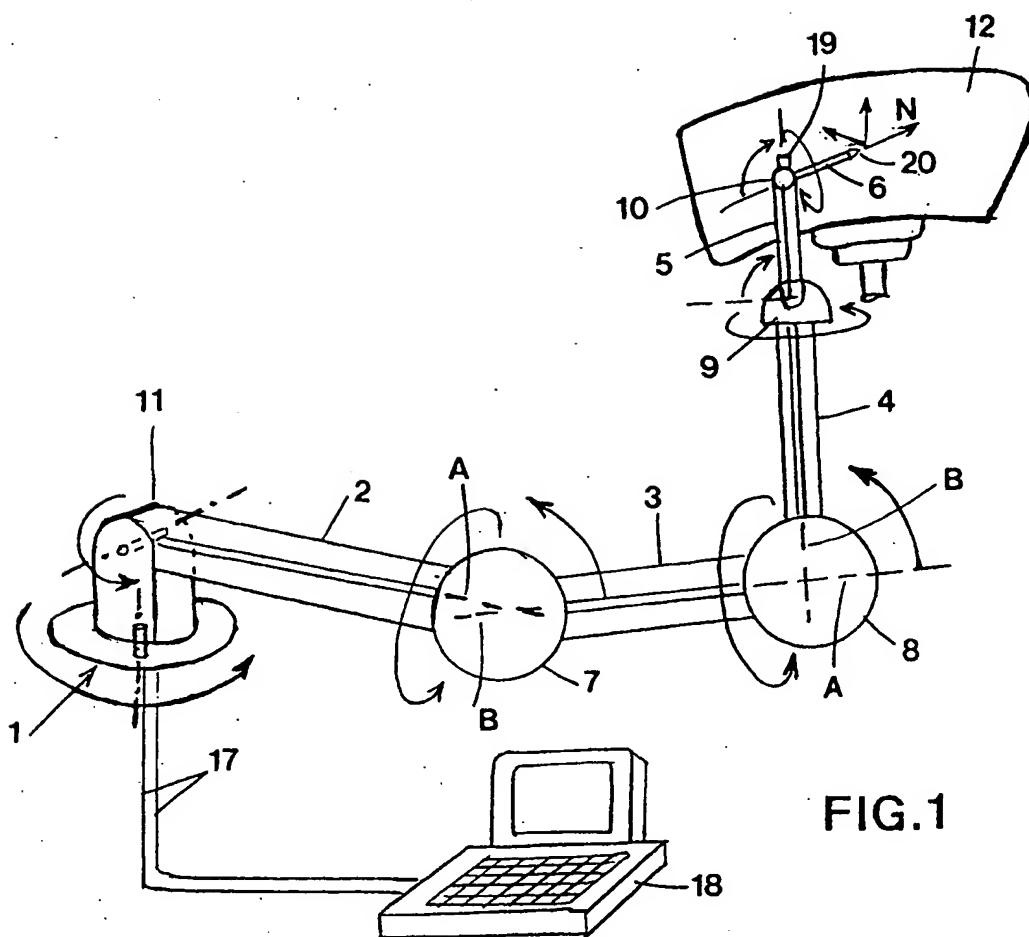
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schalter (19) zur Speicherung der Winkelpositionen der einzelnen Gelenke (7, 8, ..., 11) beim Aufsitzen der Abtastspitze (20) auf der abgetasteten Fläche (12) durch die Auswerteeinheit (18) vorgesehen ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Schalter (19) ein manuell auslösbarer Schalter ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Schalter (19) ein Annäherungs- oder Druckschalter ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 - 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastspitze (20) derart ausgebildet ist, dass sie beim Aufsitzen auf der abgetasteten Fläche (12) die Normalen-Richtung (N) der Fläche (12) einnimmt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Basis (1) am Fundament oder Laufrad der Maschine vorgesehen ist.





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 20 1550

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
D,X	FR-A-2 634 279 (ETAT FRANCAIS)	1,3,4,5,6,8	G01B7/00 G01B7/28
Y,D	* Seite 1, Zeile 23 - Seite 4, Zeile 5; Ansprüche 1-3; Abbildungen 1-3 *	2,7	
Y	EP-A-0 155 084 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA)	2,7	
A	* das ganze Dokument *	1,3	
A	DE-A-2 317 210 (F.RAMBOLD KG)	1,3	
A	* das ganze Dokument *		
A	EP-A-0 295 217 (GARDA IMPIANTI S.R.L.)	1,3	
A	* das ganze Dokument *		
A	US-A-4 477 973 (MICRO CONTROL SYSTEMS, INC)	1,3	
A	* das ganze Dokument *		
A,D	DE-A-3 241 074 (C.STIEFELMAYER KG)	1,3	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			G01B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 16 OKTOBER 1992	Prüfer BROCK T.J.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument * : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

Title: DE4140294A1: VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG EINER FLAECHENKONTUR  
UND DEREN VERWENDUNG

Country:

Kind: DE Germany

A1 Document Laid open (First Publication) i

Inventor: SCHNEEBELI, FRITZ, OBERENGSTRINGEN, CH; , Switzerland

No Image

Assignee: SULZER-ESCHER WYSS GMBH, 7980 RAVENSBURG, DE, Germany

News, Profiles, Stocks and More about this company

Published / Filed: Jan. 7, 1993 / Dec. 6, 1991

Application Number: DE1991004140294

IPC Code: G01B 5/28; G01B 5/03;

ECLA Code: None

Priority Number: June 26, 1991 CH1991000001883

INPADOC Legal Status: Gazette date Code Description (remarks) List all possible codes for  
DE

Aug. 1, 1996 8131 Rejection

Jan. 7, 1993 A1 Laying open for public inspection

Jan. 7, 1993 OP8 Request for examination as to paragraph 44 patent law

Dec. 6, 1991 AE Domestic application (DE 1991 4140294 A)

June 26, 1991 AA Priority (CH 1991 1883 A)

Family: PDF Publication Pub. Date Filed Title

JP6288756A2 Oct. 18, 1994 June 25, 1992 DETERMINATION METHOD AND DEVICE  
FOR SURFACE CONTOUR OF VANE OF IMPELLER OF FLUID MACHINERY

EP0522610A1 Jan. 13, 1993 June 1, 1992 Method and apparatus for surface-contour  
determination of rotor blades in hydraulic machines

DE4140294A1 Jan. 7, 1993 Dec. 6, 1991 VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG EINER  
FLAECHENKONTUR UND DEREN VERWENDUNG

CH0683032A Dec. 31, 1993 June 26, 1991 VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG EINER  
FLAECHENKONTUR.

4 family members shown above

Forward References: PDF Patent Pub.Date Inventor Assignee Title

US6366831 2002-04-02 Raab; Simon Faro Technologies Inc. Coordinate measurement  
machine with articulated arm and software interface

US5829148 1998-11-03 Eaton; Homer L. Spatial measuring device



German Patent No. 41 40 294 A1  
(Offenlegungsschrift)

Job No.: 6506-90053

Ref.: ROMINCL.001L

Translated from German by the Ralph McElroy Translation Company  
910 West Avenue, Austin, Texas 78701 USA

FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY  
GERMAN PATENT OFFICE  
PATENT NO. 41 40 294 A1  
(Offenlegungsschrift)

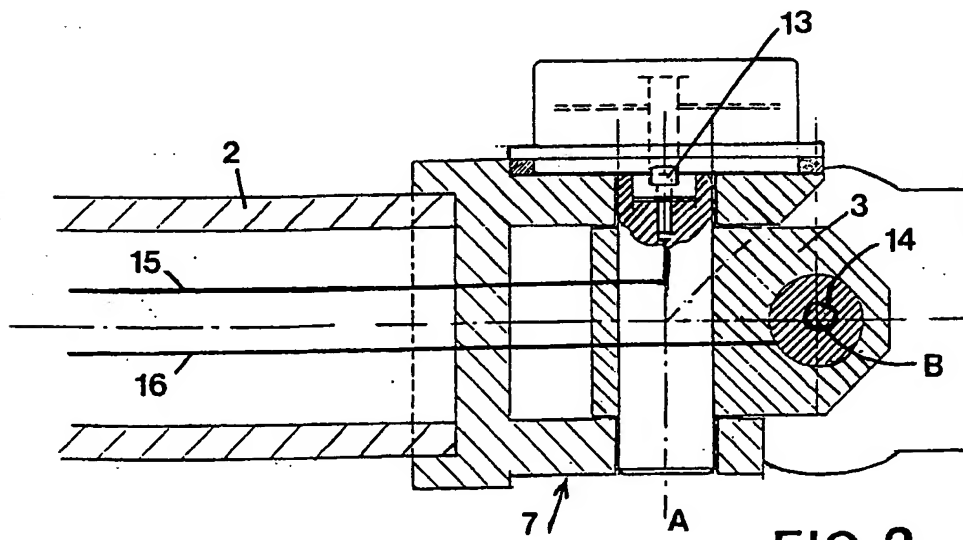
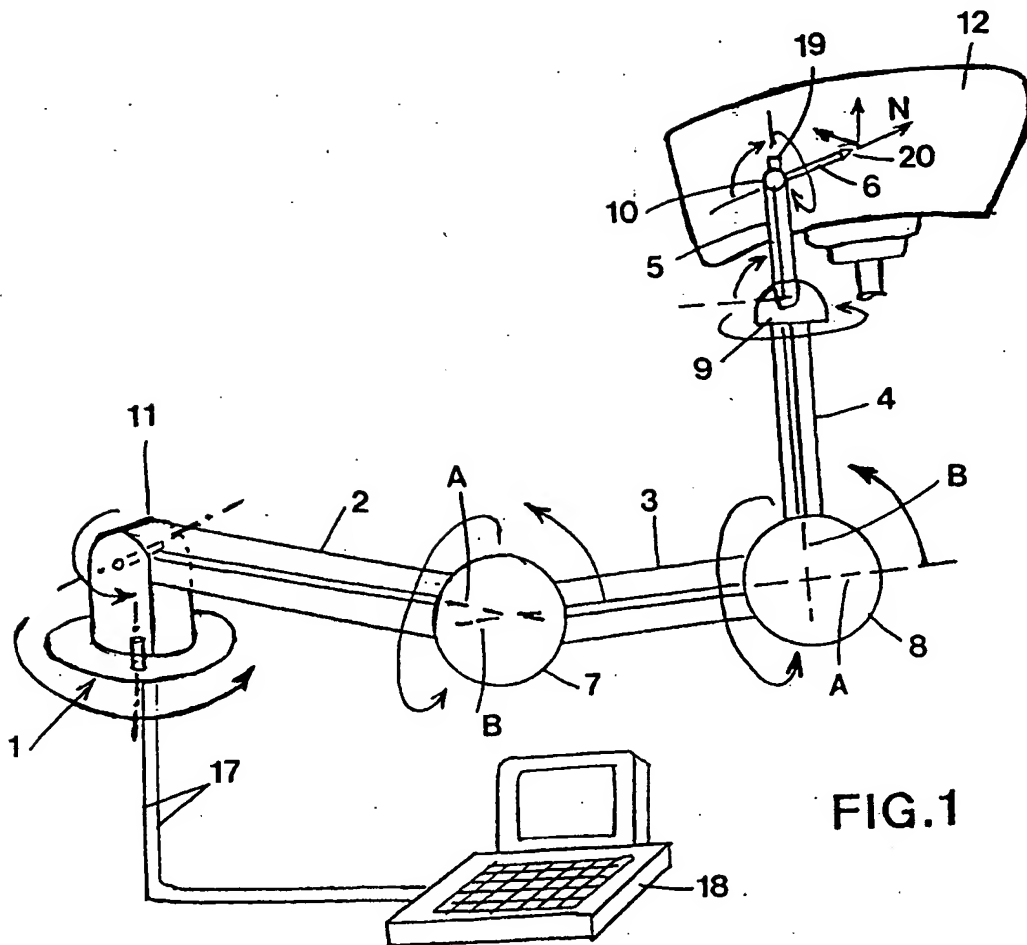
Int. Cl. <sup>5</sup> :	G 01 B 5/28 G 01 B 5/03
Filing No.:	P 41 40 294.4
Filing Date:	December 6, 1991
Date Laid-open to Public Inspection:	January 7, 1993
Priority	
Date:	June 26, 1991
Country:	CH
No.:	01883/91

DEVICE FOR DETERMINING A SURFACE CONTOUR,  
AS WELL AS THE UTILIZATION THEREOF

Inventor:	Fritz Schneebei Oberengstringen, CH
Applicant:	Sulzer-Escher Wyss GmbH 7980 Ravensburg, DE

Abstract

In order to determine a surface contour at locations that are difficult to access, e.g., for determining the shape of a turbine bucket on all sides simultaneously or for determining the inner surface of a twisted or curved pipe, the invention proposes to utilize an assembly consisting of several arms (2, 3, 4, 5, 6) that are connected to one another with universal joints (7, 8, 9, 10) such that they can be swiveled in all directions. Angular position sensors (13, 14) in the joints (7, 8, 9, 10, 11) determine the angular position of adjacent arms about two axes of rotation (A, B) that lie perpendicular to one another, with said angular position being evaluated in an evaluation unit (18) in order to determine the coordinates of the probe tip (20) with an improved measurement accuracy.



//insert figure//

#### Description

The invention pertains to a device for determining a surface contour by mechanically scanning individual points of the surface with a scanning assembly comprising at least three arms that can be moved relative to one another, wherein one end of said assembly contains a probe tip, and wherein its other end is arranged at a fixed point. The invention also pertains to the utilization of such a device.

Known mechanical surface contour scanning devices, e.g., the cross-staff heads known from DE 32 41 074 and DE 35 06 494, have three arms of adjustable length that can be displaced perpendicularly relative to one another, wherein the length of the individual arms is adjusted until the probe tip on the outermost arm is seated on the surface. In this case, the lengths of the three arms directly indicate the coordinates of the scanned surface point. The surface contour is obtained by successively scanning individual surface points according to a predetermined grid. In this case, determination of the coordinates is based on a length measurement, and is correspondingly inaccurate. In addition, many curved and twisted surfaces cannot be scanned with a cross-staff head without repositioning the compound slide rest.

In the measuring device described in DE 37 20 795, some of the translational movements are realized with simple swivel arms that are provided with a motor drive. However, the scanning arm can still be displaced in the longitudinal direction. Determination of the coordinates from the length of the scanning arm and the swiveling movement of the joints is frequently not sufficiently accurate, with the construction also being relatively complicated and insufficiently flexible for certain applications.

Another measuring device with three arms that are connected by means of swivel joints is known from GB 14 98 009. In this case, the inner arm can additionally be turned about its axis.

The position of the tip of the outer arm can be determined with sufficient precision from the angle of rotation and the two swivel angles. However, one disadvantage can be seen in the fact that due to its insufficient flexibility, such an assembly only makes it possible to scan surfaces with relatively simple shapes. When determining the surface contour of highly twisted and curved surfaces, for example, the shape of water turbine buckets with a complex curvature, particularly Francis turbine buckets, or the inner surfaces of curved pipes, these known devices make it impossible to easily realize this determination in only one measurement process. It is, in particular, impossible to scan the front side and rear side of a particular profile, for example, a water turbine bucket, without repositioning the measuring device.

The invention is based on the objective of eliminating the above-mentioned disadvantages of the prior art and of developing a device for determining surface contours with an improved accuracy, wherein said device has a greater flexibility such that it is also suitable for scanning surfaces that are curved or twisted in a complex fashion, and in particular, inner surfaces, and wherein the device also makes it possible to simultaneously determine the contour of the front side and the rear side of a profile.

According to the invention, this objective is attained due to the fact that the assembly comprises several arms of fixed length which are connected to one another by non-driven universal joints such that they can be respectively swiveled about at least two axes of rotation that lie perpendicular to one another, the fact that the joints respectively contain two angular position sensors for measuring the angular position of the successively arranged arms in both swiveling directions, and the fact that an evaluation device is provided which determines the position of the probe tip in space from the angular positions measured at the joints and from the predetermined lengths of the arms.

In order to additionally improve the flexibility of the assembly, the innermost arm is advantageously arranged at a fixed point such that it can also be swiveled about two axes of rotation that lie perpendicular to one another, wherein two angular position sensors for measuring the angular positions of the inner arm are also provided at the fixed point.

The assembly advantageously comprises at least three or more successively arranged arms that are connected to one another with universal joints, such that complex inner surfaces can also be scanned with the aid of six or more available angle parameters. This makes it possible to achieve a sufficient flexibility without a length adjustment of the individual arms. This means that concealed measuring points on the rear side can also be easily reached. In most instances, three arms suffice for this purpose. However, four or more arms that make it possible to achieve a snake-like mobility can also be provided for more complicated measurements.

According to one advantageous additional development, the probe tip of the outermost arm is realized in such a way that it is always perpendicularly seated on the surface to be

scanned. This perpendicular direction can also be calculated from the angular positions of the joints.

The invention is described in greater detail below, with reference to the embodiments illustrated in the figures. The figures show:

Figure 1, a side view of a device for determining a surface contour, and

Figure 2, a section through a joint between two arms.

The device shown in Figure 1 consists of a frame or assembly that is arranged at a fixed point 1 and comprises several arms 2, 3, 4, 5 and 6 that are connected to one another with universal joints 7, 8, 9, 10 in such a way that the arms are able to move freely relative to one another by swiveling said arms about two axes of rotation A, B that lie perpendicular to one another in the above-mentioned joints. The individual arms 2, 3, 4 ... preferably have a fixed length. The inner arm 2 is also arranged at the fixed point such that it can be moved in all directions with the aid of a joint 11. The outermost arm 6 is realized in the form of a probe, the tip 20 of which is successively placed onto individual measuring points of the surface 12 to be scanned, in order to determine its contour.

One example of a joint between two adjacent arms is shown in Figure 2. This joint is realized in the form of a universal joint that allows the arms 2 and 3 to be swiveled independently relative to one another about the axes of rotation A and B. The respective positions of the two arms 2 and 3 relative to one another can be determined in both swiveling directions by means of angular position sensors 13 and 14. These sensors can have a conventional design, and each sends an angular position signal to the fixed point 1 via lines 15 and 16 within the assembly 2. The individual angular position signals of the joints 7, 8 ... 11 are sent from the fixed point 1 to an evaluation unit 18 via lines 17. This evaluation unit calculates the position of the probe tip 20 from the angular position signals of the joints 7, 8 ... 11, as well as from the predetermined lengths of the arms 2, 3 ... 6. A person skilled in the art is familiar with the simple geometric algorithm required for this calculation. The individual coordinates of the scanned measuring points on the surface 12 that are determined in this fashion are stored in the evaluation unit 18, and are compiled into comprehensive information regarding the contour of the scanned surface 12.

These processed measurement values in particular make it possible to determine whether the measured contour deviates from a predetermined nominal contour in the form of a 3-D surface model, for example, the ideal bucket shape of a water turbine or a predetermined inner surface of a bent pipe, and whether subsequent processing is required or not. Due to the snake-like mobility of the rod assembly, hidden surface sections and inner surfaces can also be easily accessed. The scanning device can be realized so flexibly that nearly all imaginable surfaces can be reached and scanned.

The information obtained during the scanning process can be extended by designing the measuring tip of the outermost arm 6 in such a way that it is always seated in the normal direction N on the surface 12 to be scanned.

The surface contour 12 is preferably scanned manually, wherein the angular positions for each measuring point are stored in the evaluation unit 18 by manually triggering the position signals as soon as the probe tip 20 is seated on the surface. Such manual scanning on a series of arbitrarily selectable measuring points provides the advantage that no drive and control elements are required, and that the device can be designed to be particularly light and simple. However, automatic triggering is also conceivable, wherein the probe tip 20 or the joint 10 is additionally provided with a pressure or proximity switch 19 that triggers storage of the angular position values as soon as the probe tip 20 is seated on the surface 12 to be scanned.

Instead of realizing the joints 7, 8, ... 11 in the form of true universal joints, they may also be designed differently, e.g., in the form of ball-and-socket joints that allow the arms to swivel in all directions, therefore also in two arbitrary axes of rotation that lie perpendicular to one another. In this case, the angular position sensors respectively acquire the angular position values in two directions that lie perpendicular to one another.

The determined coordinate values are exceptionally accurate because the assembly does not contain any heavy elements, e.g., motors or the like, and because the rod assembly is essentially not deformed at all, so that the measuring results are not falsified even if the assembly has significant length. The accurately measurable angular positions also contribute to these precise coordinate values. The flexibility and applicability of the device, as well as its measurement accuracy, are significantly improved because an arbitrary number of freely selectable surface points can be scanned on arbitrary sections of the surface, including the rear side and inner surfaces, and because scanning and processing of the measurement values takes place in one step. The device can also be advantageously utilized in instances in which other methods fail or are associated with great difficulties, e.g., for determining the surface contour of a turbine bucket on all sides simultaneously or for determining the inner surface of an arbitrarily shaped pipe that is difficult to access.

### Claims

1. Device for determining a surface contour (12) by mechanically scanning individual points of the surface with an assembly comprising at least three arms (2, 3, 4, 5, 6) that can be moved relative to one another, wherein one end of the assembly contains a probe tip (20), and wherein its other end is arranged at a fixed point (1), characterized by the fact that the assembly comprises at least three arms (2, 3, 4, 5, 6) of fixed length which are connected to one another by non-driven universal joints (7, 8, 9, 10) such that they can be swiveled around at least two axes of

rotation (A, B) that lie perpendicular to one another, by the fact that the joints (7, 8, 9, 10) respectively contain two angular position sensors (13, 14) for measuring the angular position of the successively arranged arms in both swiveling directions, and by the fact that an evaluation device (18) is provided which determines the position of the probe tip (20) in space from the angular positions measured at the joints (7, 8, 9, 10) and from the predetermined lengths of the arms (2, 3, 4, 5, 6).

2. Device according to Claim 1, characterized by the fact that the inner arm (2) that is arranged at the fixed point (1) also has a joint (11) in order to swivel this arm about two axes of rotation that lie perpendicular to one another, as well as two angular position sensors for measuring the angular position of the inner arm (2) in the joint (11).

3. Device according to Claim 1 or 2, characterized by the fact that a switch (19) is provided for storing the angular positions of the individual joints (7, 8, ... 11) in the evaluation device (18) once the probe tip (20) is seated on the surface (12) to be scanned.

4. Device according to Claim 3, characterized by the fact that the switch (19) can be manually triggered.

5. Device according to Claim 3, characterized by the fact that the switch (19) consists of a proximity or pressure switch.

6. Device according to one of Claims 1-5, characterized by the fact that the probe tip (20) is realized in such a way that it assumes the direction of the normal (N) to the surface (12) when it is seated on the surface (12) to be scanned.

7. Utilization of the device according to one of Claims 1-6 for determining the surface contour of a turbine bucket.

8. Utilization of the device according to one of Claims 1-6 for determining the contour of the inner surface of a pipe.

//insert figures//